

# GPS 위치정확도 향상을 위한 의사거리 오차의 분석에 관한 연구

## Error Budget Analysis of Pseudorange for Improving the GPS Positioning Accuracy

김 용 일\*  
Kim, Yong-Il

김 동 현\*\*  
Kim, Dong-Hyun

김 병 국\*\*\*  
Kim, Byung-Guk

### 要 旨

C/A 코드용 GPS 수신기를 단독으로 사용하여 위치를 구하는 경우 수신기에서 측정되는 위성-수신기간의 의사거리에 포함된 여러 오차요소들로 인하여 계산된 위치는 매우 큰 오차를 가진다는 것이 알려져 있다. 본 논문은 측정된 의사거리에 포함된 오차요소들의 정량적인 분석에 관한 것이며, 그 중에서 오차의 가장 큰 부분을 차지하면서 현재 발생과정이 공개되지 않고 있는 고의적인 오차인 SA(selective availability)의 특성을 쉽게 확인할 수 있는 방법이 제시되었다. 실험결과 측정된 도플러 편이량과 수신기시계 편이량의 변화로부터 SA의 효과를 확인할 수 있었으며, 전자에 대해서는 2차 다항식을 그리고 후자에 대해서는 선형식을 적용함으로써 측정값과 추정값간의 차를 보정하여 SA의 영향을 어느 정도 소거할 수 있음을 보였다. SA의 특성에 대한 분석은 주기성 자기상관함수를 적용하였으며, 그 결과 1차 Gauss-Markov 프로세서의 인자들이 결정되었다.

### ABSTRACT

It is well known that point positioning using a C/A-code receiver is severely biased by errors in pseudorange. This paper shows the procedures of quantitative analysis for several error elements and that some methods to monitor SA(selective availability) of which process is not opened are proposed. It is possible to verify the effects of SA in the Doppler shift and receiver clock drift variation. Easy methods to reduce SA effects are to fit second order polynomials for the one and a linear function for the other. With periodic autocorrelation functions, SA effects are analyzed and first order Gauss-Markov process parameters are decided.

### 1. 서론

자동차 항법시스템의 완전한 기능발휘를 위한 교통 하부구조시설(교통관제시스템, 통신시설, DGPS 등)이 정비되어 있지 못한 현 단계에서 교통문제 해결에 대한 사회적 요구와 자동차사의 신상품 개발전략이 맞물려 추진되고 있는 자동차 항법시스템의 실용성을

보장하기 위해서는 실시간 위치정보의 정확도가 매우 중요하다. 자동차 항법시스템에서 위치결정을 위한 센서로 GPS를 이용하려는 경우, 4대 이상의 GPS 위성이 어느 곳에서나 항상 관측 가능성해야 하는 조건뿐만 아니라 계산된 위치의 정확도가 구축된 시스템의 요구 수준에 부합되어야 한다. 현재의 상황으로 볼 때 전자의 조건은 GPS가 자동차 항법시스템에 이

\* 서울대학교 도시공학과 조교수

\*\* 서울대학교 도시공학과 박사과정

\*\*\* 인하대학교 지리정보공학과 조교수

용되는데 아무런 문제를 야기하지 않을 만큼 충분히 만족되고 있으나, 후자의 조건은 DGPS를 위한 시설이 충분히 확충되지 않는다면 GPS 단독의 센서 구성으로는 실용성에 문제를 일으킬 정도의 상황이다. 즉, C/A코드를 이용하여 계산되는 위치오차의 2drms(distance root mean squares error)가 약 100m에 달하고 있다<sup>1)</sup>. 이와같은 결과는 수신기에서 측정된 C/A코드의 의사거리(pseudorange)에 포함되어 있는 여러 가지 오차요소, 즉, 위성궤도오차, 위성시계 및 수신기시계의 편위량, 대류권 및 전리층 신호전달 지연량, 위성신호에 의도적으로 부과된 오차인 SA(selective availability), 다중경로오차(multi-path), 수신기 신호측정잡음 등에 의하여 신호가 수신되는 순간의 위성-수신기간의 측정거리가 심하게 왜곡되기 때문이다. 일반적으로 이들 개별오차요소들을 정량적으로 분석하는 이유는 개별오차요소들을 모형화하기 위한 것이며, Richard<sup>2)</sup>의 설명과 같이 모형화에 따른 편위가 최소화된 상황에서는 이러한 모형의 적용이 계산된 위치의 정확도를 높이는 역할을 하기 때문이다. 이러한 과정을 고려하지 않는 단순한 접근에서는 일반적으로 계산하려는 수신기의 좌표와 수신기시계의 편위량을 변수로하고 나머지 오차요소들은 정규성을 지닌 확률변수로 가정함으로써 그러한 가정에 위배되는 오차특성이 그대로 반영된 결과를 나타낼 수밖에 없다. 따라서 본 연구는 DGPS가 전제되지 않는 상황에서 단독의 수신기에서 측정되는 C/A코드의 의사거리에 포함되어 있는 오차요소들을 개별적으로 정량화하고, 이들의 특성을 분석함으로써 실시간의 항법에 이용할 수 있는 필터 또는 알고리즘을 개발하는 기초자료를 확보하는데 주력하였으며, 그 결과 가장 큰 오차를 발생시키는 SA의 특성과 그 영향을 실시간으로 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

## 2. 관측량에 포함된 개별오차요소

측정된 의사거리에 포함된 개별오차요소들을 정량적으로 분석하기 위한 과정을 그림1에 개념적으로 나타내었다. 이들 개별오차요소들은 수신기와 외부의

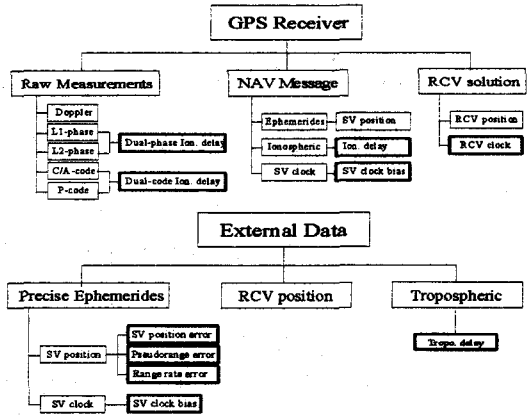


그림 1. 개별오차요소의 계산과정

측정값을 이용하여 정량화할 수 있으나, 정확한 분석을 수행하기가 쉽지는 않다. 따라서 본 연구는 정량화된 오차들의 정확성 보다는 분석절차상의 정확성에 유의하여 진행되었다.

### 2.1 의사거리오차

관측량에 포함된 개별오차요소를 정량화하기 위해서는 우선 관측된 의사거리에 포함된 전체오차를 계산하여야 한다. 이를 위해서는 관측순간의 위성-수신기간의 실거리가 정확히 계산되어야 하므로 다음과 같은 사전자료가 필요하다.

- 수신기의 정확한 WGS-84 좌표
- 위성의 정확한 WGS-84 좌표

지상수신점의 정확한 WGS-84 좌표는 측지학적 관점에서 전세계 GPS network과의 공동작업을 수반하는 매우 힘든 일이므로, 본 연구에서는 편의상 일본과의 GPS 공동관측을 통하여 성과가 결정된 대전 천문대 GPS 관측점의 WGS-84 좌표를 사용하였다. 위성의 WGS-84 궤도좌표는 NOAA에서 운영하고 있는 CIG-NET GPS 관측망에서 측정된 자료를 후처리하여 계산된 성과를 이용하였으며, 그 결과 계산된 의사거리오차를 그림2에 나타내었다.

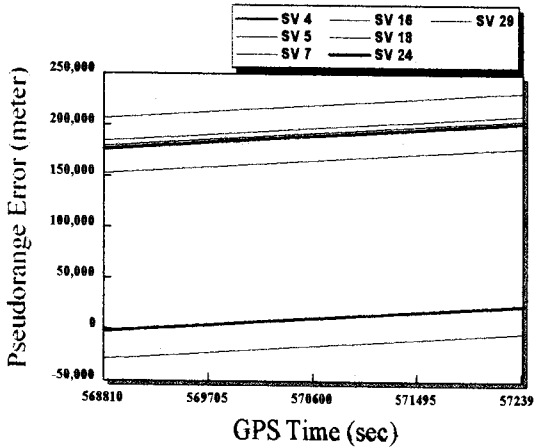


그림 2. 위성별 의사거리오차

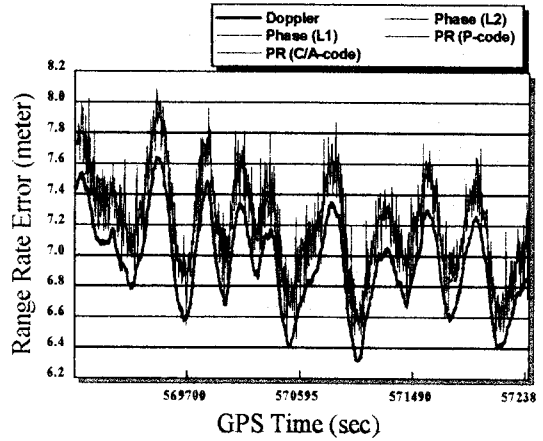


그림 3. 관측자료별 의사거리변화율

그림3은 수신기에서 측정된 L1, L2와의 누적위상수, C/A, P코드의 의사거리 및 도플러 주파수 편의량을 각각 이용하여 계산된 의사거리의 변화속도를 나타낸 것이다. GPS 위성의 궤도운동에 따른 위성-수신기간의 의사거리 변화속도는 수신기에서 측정된 각각의 측정값에 오차가 없다면 2차포물선 형태로 나타나지만<sup>3)</sup> 실제로는 여러 가지 오차요소들로 인하여 그림3와 같이 매우 불규칙하게 나타난다. 이러한 오차요소들 중에서 가장 크게 영향을 미치는 것은 SA(selective availability)로서, 실험결과 그림3에 나타나 있는 불규칙성의 패턴을 지배하며 관측되는 위성별로 서로 상이한 형태를 보이는 것으로 확인되었다. 만약 그림3에서 나타나는 의사거리 변화속도의 불규칙성을 제거할 수 있다면 한 대의 수신기를 이용하여 C/A코드를 측정하더라도 이론적으로는 수m의 오차범위에서 위치결정이 가능하다. 따라서 의사거리 변화속도를 이용한 필터의 설계가 실시간의 항법에서 고려될 수 있다. 그림3에서 보여지는 또다른 특징은 P코드에 의한 의사거리 변화속도의 경우 신호잡음이 매우 높다는 점이다. 이것은 2주파 수신기의 경우라도 P코드의 재생이 매우 어렵다는 것을 의미하며, 이로 인해 C/A코드와 P코드를 동시에 이용하여 전리층 신호전달지연량을 추정할 경우 유용한 결과를 기대하기가 어려워진다.

## 2.2 위성의 궤도오차

위성의 궤도좌표오차 분석은 NOAA에서 계산된 정밀궤도좌표를 기준으로 위성에서 실시간으로 발신되는 항법정보중의 위성궤도요소를 이용하여 계산된 궤도좌표를 비교함으로써 가능하다. NOAA에서 계산된 정밀궤도좌표는 WGS-84 좌표로 직접 주어지지만 위성의 항법정보에 포함된 궤도요소를 이용하는 경우 정구궤도이론에 따라 케플러 방정식을 풀어서 구해야 한다. 이 경우 위성의 위치를 계산할 때 가장 어려운 문제는 수신된 위성신호의 발신시각을 정확히 추정하는 것이다. 위성의 궤도오차요소에 포함된 오차보다 위성신호의 발신시각 추정오차가 더욱 큰 영향을 미칠 수가 있기 때문이다. 위성신호의 발신시각 추정기법으로는 반복계산에 의해 수렴해를 얻는 반복법<sup>4)</sup>과 수신시각을 기준으로 테일러 급수전개를 통한 일차미분식으로부터 직접 추정하는 직접법<sup>5)</sup>이 있다. 실험결과 두 방법에 의한 추정치는 10-11sec의 수준에서 차이가 나므로 어느방법을 이용해도 문제가 되지않는다.

그림4와 5는 위성의 궤도오차와 그것으로 인한 위성-수신기간의 거리오차를 나타낸 것이며, 표1에 그 결과를 요약하였다.

표1에 따르면 위성의 항법정보를 이용하여 궤도를 계산하더라도 위성-지구중심간의 거리는 매우 정확히

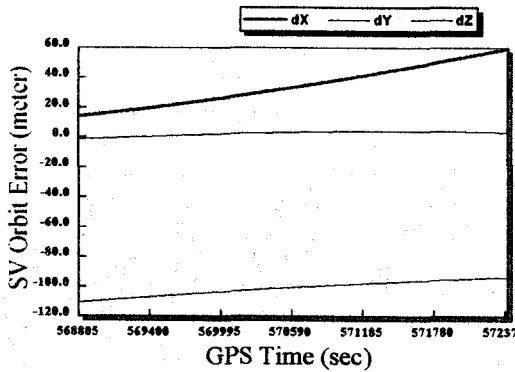


그림 4. 위성의 궤도오차

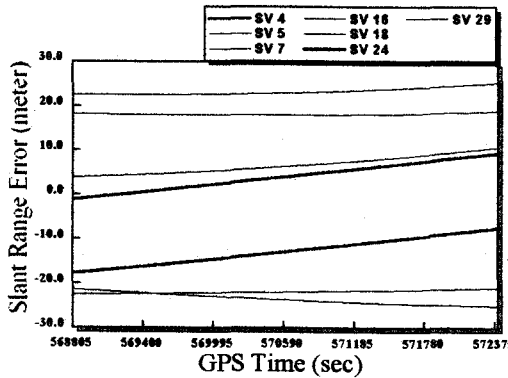


그림 5. 위성-수신기간의 거리오차

추정할 수 있다. 그러나 의사거리를 이용하여 수신기의 좌표를 후방교회법(resection)으로 계산하는 경우 위성-수신기간의 거리에 포함된 오차가 영향을 미치게 되며, 비교적 그 크기가 크다는 것을 알 수 있다. 위성의 궤도요소에 포함된 오차가 SA의 한 형태임이 알려져 있으나<sup>6)</sup>, 그 발생과정에 관해서는 알려져 있지 않다.

표1 위성의궤도오차

항 목		편 의	표준편차	평균제곱근오차
위성궤도 좌 표	X	34.63	13.23	37.07
	Y	-100.726	5.01	100.85
	Z	2.89	1.67	3.33
위성-지구중심 거 리		0.55	1.35	1.45
위성-수신기 거 리		-0.83	17.52	17.54

### 2.3 위성시계의 편의

위성시계의 편의는 위성의 항법정보에 포함된 보정 계수와 케플러 방정식의 수렴해인 이심근점이각(eccentric anomaly)을 이용하여 실시간으로 추정할 수가 있다.

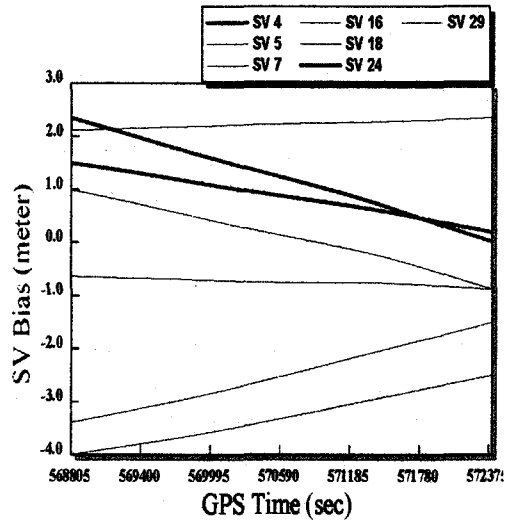


그림 6. 위성별 위성시계의 편의 오차

그림 6은 NOAA의 정밀위성궤도정보를 이용하여 계산된 위성시계의 편의를 기준으로 위성의 항법정보로부터 추정된 위성시계 편의의 오차를 구한 것이다.

### 2.4 대류권에 의한 신호전달지연

대류권에 의한 위성신호전달의 지연은 대기에 의한 위성신호의 굴절효과 때문이며, 신호전달지연의 정도는 관측지점에서 수직방향으로는 대략 1.9-2.5m이고 관측되는 위성의 cosecant에 비례하여 증가한다. 이러한 신호전달의 지연은 관측지점의 고도에 따라 변하는 온도, 습도 및 기압에 의존한다. 그러나 위성신호의 주파수(30GHz 이하)에 대해서는 동일한 영향을 미치므로 2주파 GPS의 장점을 이용할 수가 없다. 따라서 대류권의 영향은 수신기의 관측량을 직접 이용하여 추정할 수가 없으므로 일반적으로 수학적 모델을

이용하여 신호전달지연량을 추정하게 된다. 이용가능한 모형으로 Hopfield Model<sup>7,8)</sup>, Saastamoninen Model, Saastamonin -en/Marini Model, Modified Hopfield Model<sup>9)</sup>이 있으며, 기존의 연구에 따르면 Modified Hopfield Model이 가장 양호한 것으로 평가되고 있으며 추정의 정확도가 98% 정도의 신뢰도를 갖는 것으로 알려져 있다.

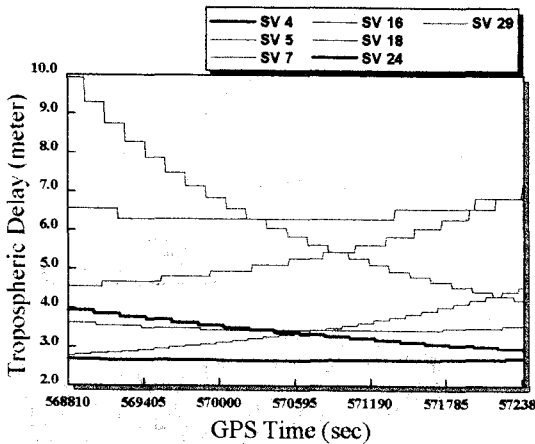


그림 7. 대류권에 의한 신호전달지연

### 2.5 수신기 시계의 편

수신기 시계의 편은 GPS 항법을 위한 해를 구하는 과정에서 주어지며, 일반적으로 복잡한 필터의 구성없이도 손쉽게 관측오차를 상당부분 줄이려는 경우 유용한 자료로 이용된다. 수신기 시계와 동기화된 매우 안정된 시계로부터 편이 계산될 경우 비교적 짧은 관측시간동안에는 다음과 같은 시간에 대한 2차 다항식으로 표현될 수 있다.

$$dT = a_0 + a_1 \Delta t + \frac{1}{2} a_2 \Delta t^2 \quad (1.1)$$

따라서 수신기시계 편이의 시간에 대한 변화율은 식(1.1)을 미분한 선형식으로 표현할 수 있으며, 이것이 측정오차의 변화특성을 손쉽게 관찰할 수 있는 근거가 된다. 본 연구에서는 직접적인 수신기시계의 편의를 측정하는 대신, 수신기가 제공하는 편의와 측정

자료를 이용하여 재계산된 편의를 이용하여 시간에 따른 변화율을 선형식으로 추정하여 계산하였다.

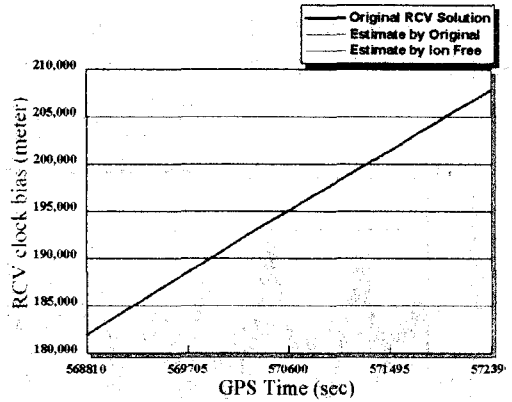


그림 8. 수신기시계의 편의 비교

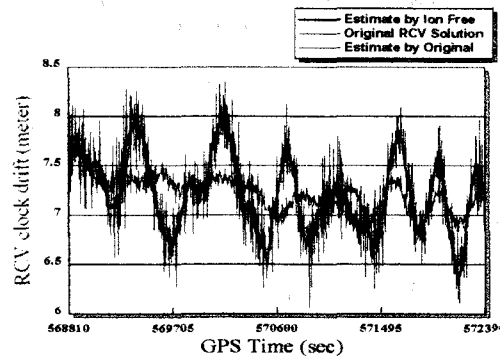


그림 9. 수신기시계 편의변화율 비교

그림8은 세가지 방법(수신기가 계산한 편, 관측량을 이용하여 재추정된 편, 전리층영향을 소거한 관측량의 선형결합식으로부터 추정된 편)으로 추정한 수신기 시계의 편의를 나타낸 것이며, 그림9는 각각의 편이에 대한 시간변화율을 계산한 것으로 그림3의 의사거리 변화율과 매우 유사한 특성을 나타낸다. 따라서 SA에 의한 영향이 수신기시계의 편의로 전가되는 것으로 볼 수 있다. 그런데 Richard<sup>1)</sup>에 따르면 관측되는 모든 위성에서 공통적인 영향만이 수신기시계의 편의로 전가된다. 반면 SA는 그 특성이 위성별로 다르게 나타나므로 의사거리 변화속도의 불규칙성에 대해서 언급된 것과 같은 필터의 구성은 고려할 수가 없다. 그렇지만 수신기시계 편이의 변화율이 보이는

불규칙성을 선형식으로 보정할 경우 모든 측정값에 공통적인 오차요소는 쉽게 제거할 수 있는 잇점이 있다. 이러한 SA의 특성과 관련된 두가지 측정값, 즉 의사거리의 변화속도와 수신기시계 편의의 변화율의 유사성을 분석하기 위한 과정과 결과는 다음과 같다.

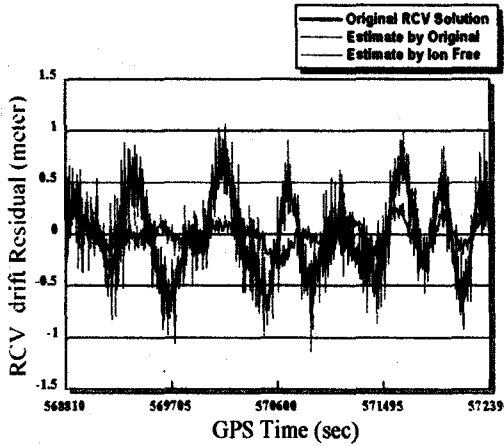


그림 10. 수신기시계 편의변화율의 잔차

그림10에서 보여지는 잔차의 특성은 일반적으로 Gauss-Markov 프로세서로 나타낼 수 있으나, 본 연구의 결과 다음과 같은 주기성을 갖는 Gauss-Markov 1차 프로세서<sup>10)</sup>가 적합하였다.

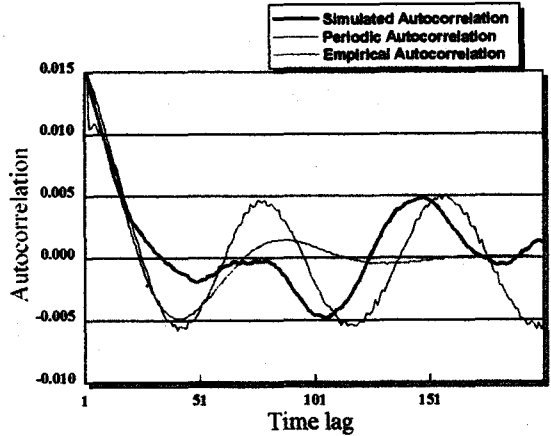
$$R(\tau) = \sigma^2 e^{-\beta \tau} \cos(\omega \tau) \quad (1.2)$$

따라서 다음의 식으로 주기성 1차 Gauss-Markov 프로세서를 나타낼 수 있다.

그림 11. 수신기시계 편의에 대한 자기상관함수 분석

$$\begin{aligned} x_{1,k+1} &= e^{\alpha} x_{2k} + w \\ x_{2,k+1} &= e^{-\alpha} x_{1k} + e^{-\beta \Delta} x_{2k} + (\alpha - 2\beta)w \\ \alpha &= (\beta^2 + \omega^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (1.3)$$

식(1.2)에서  $\omega$ 는 잔차자료를 푸리에 변환함으로써 쉽게 추정되며,  $\beta$ 는 잔차자료로부터 계산된 자기상관 계수를 적합시킴으로써 추정된다. 그 결과 식(1.3)은 시정수  $1/\beta$ , 백색잡음  $w$ 의 분산이  $2\sigma^2$ 인 프로세서가



된다. 수신기시계 편의의 변화율에 대하여 분석된 결과를 그림11, 12 및 표2에 나타내었다.

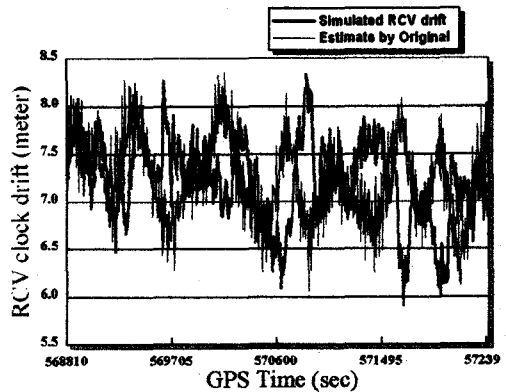


그림 12. Gauss-Markov 프로세서로 형성된 수신기시계 편의의 시간에 대한 변화율

표 2. 잔차의 자기상관분석 결과

구 분	내 용	시정수 (sec)	백색잡음 표준편차 (meter)
Original RCV Solution		225	0.07
Estimate by Original		170	0.10
Estimate by Ion Free		190	0.03

여기서 수신기시계 편의의 시간변화를 분석과 동일한 분석을 그림 3의 의사거리변화에 적용하였을 때 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

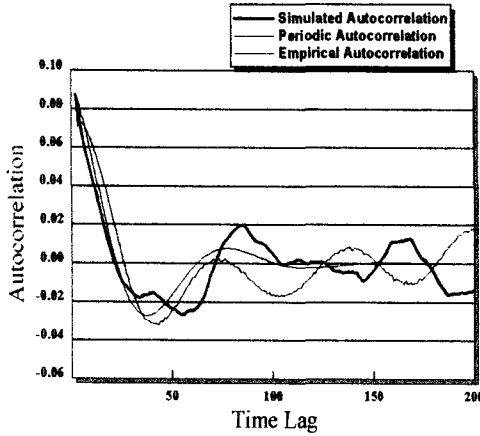


그림 13. 의사거리변화율에 대한 자기상관함수 분석

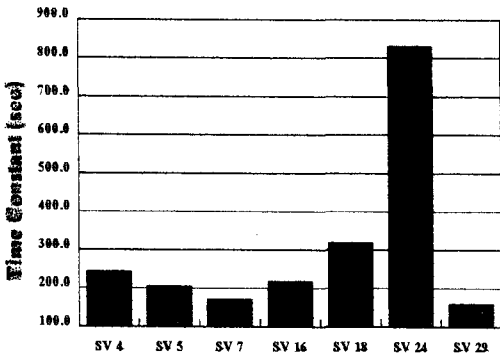


그림 14. 의사거리변화율에 대한 시정수

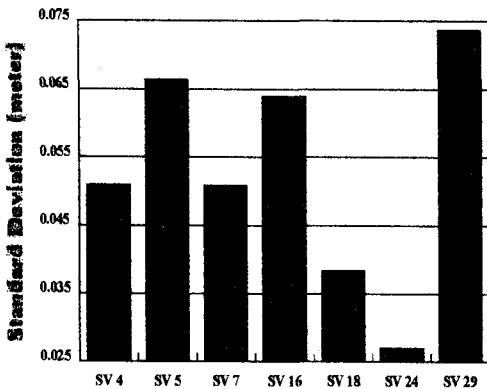


그림 15. 의사거리변화율에 대한 백색잡음의 표준편차

그림 14, 15에서 알 수 있듯이 SA의 영향을 대부분 포함하고 있는 의사거리의 변화율 특성이 수신기시계의 편이변화율과 거의 유사함을 알 수 있다.

### 2.6 전리층에 의한 신호전달지연

전리층 신호전달지연의 가장 큰 요인은 위성신호의 전달경로 상에 분포하는 자유열전자이다. 전리층은 대류권과는 달리 위성신호의 주파수에 따라 달리 영향을 미치므로 2주파 GPS 신호를 이용하여 그 영향을 정확히 추정할 수 있다. 그러나 2주파의 신호를 모두 이용할 수 없는 경우에는 위성의 항법정보에 포함된 계수를 이용하여 수학적모형으로 추정해야 하며, 여기에 해당되는 것이 Klobuchar Model<sup>(11)</sup>이다. 2주파 신호를 모두 이용하는 경우에도 C/A, P 코드를 이용하여 추정하는 경우, 앞에서 언급된 P 코드의 재생시 매우 많은 신호잡음이 포함되기 때문에 정확한 전리층 신호전달지연량의 추정이 어렵다. 또한 L1, L2의 누적위상을 이용하는 경우 초기의 미지정수를 추정하는 것이 매우 어렵기 때문에 이것의 이용도 간단치는 않다.

$$d_{ion} = (P_{L1} - P_{L2}) \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \quad (1.4)/(1.5)$$

$$d_{ion} = \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \{ \lambda_{L1}(\phi_{L1} - N_{L1}) - \lambda_{L2}(\phi_{L2} - N_{L2}) \}$$

식(1.4)는 C/A, P 코드를 이용해 관측된 의사거리만으로 전리층 신호전달지연을 계산하는 식으로 매우 쉽게 지연량을 계산할 수 있다. 그러나 식(1.5)는 미지정수를 사전에 정확히 추정해야만 되므로, 이를 위해서 본연구에서는 이미 취득된 오차의 특성과 기준값들을 적용하여 비교적 정확한 N의 추정치를 얻을 수 있었다. 이는 1대의 수신기로 N값을 추정하는 경우이므로 매우 다양한 실험의 수행이 필요하였다.

우선 관측량을 L1, L2, Wide-lane, Narrow-lane, Ion-free로 선형결합한 후, 각각의 관측량에 포함된 오차를 여러 가지 방법으로 소거시켜 나가면서 각 경우의 N값의 수렴형태를 관찰하였다.

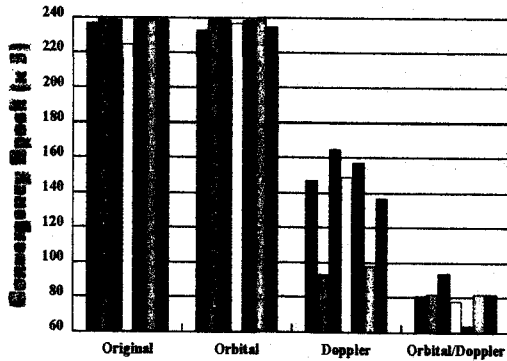


그림 16. 위성별 오차소거방법에 따른 N의 수렴속도

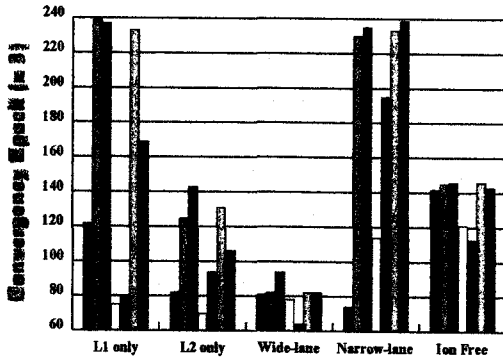


그림 17. 위성별 관측량에 따른 N값 수렴속도

그림16에서 Doppler는 수신기시계 편이의 변화율에 대한 선형추정식을 이용하여 수신기시계의 편이량을 보정한 측정값을 이용한 것이며, Orbital은 위성의 궤도좌표오차를 보정한 측정값을 이용한 것이다. 즉, SA의 두가지 요소로 추정되는 효과를 각각 보정하였음을 의미한다. 실험결과 최적의 N값 수렴조건은 관측량의 Wide-lane 선형결합과 수신기시계의 편이에 포함된 미지의 SA 영향을 소거하는 방법이었다.

그림18은 Wide-lane 선형결합 관측량을 이용하는 경우라도 SA의 영향이 소거되지 않으면 N값이 수렴되지 못함을 보여준다. 그림19는 최적의 수렴해기는 하지만 이를 곧바로 전리층 신호전달지연량 계산에 이용할 수는 없다. 왜냐하면 수렴된 Wide-lane N값으로부터 직접 L1, L2의 N값을 유도할 수가 없기 때문이다. 따라서 Wide-lane 다음으로 양호한 수렴

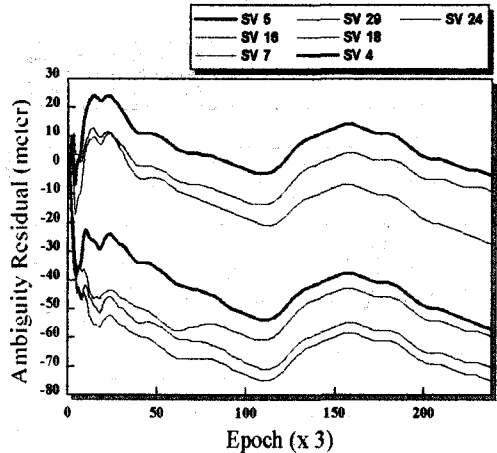


그림 18. Doppler 보정이 없는 Wide-lane의 N값

결과를 보이고 있는 L2 또는 Ion Free의 N값을 함께 이용하여 L1의 N값을 유도할 수가 있다.

그림 20은 Wide-lane 과 L2 또는 Ion Free 의 N 값을 이용하여 추정된 L1 의 N값과 L1을 이용하여 수렴된 N값이 비교적 정확한 수렴결과임을 보여주는 증거이다. 기존의 연구에서 알려진바와 같이 위성의 항법정보로부터 추정된 전리층 신호전달지연량은 실제 값을 50%정도로 보정하는 효과밖에 없으며<sup>12)</sup> 경우에 따라서는 매우 큰 편의를 갖는다. 그림21에서 C/A, P

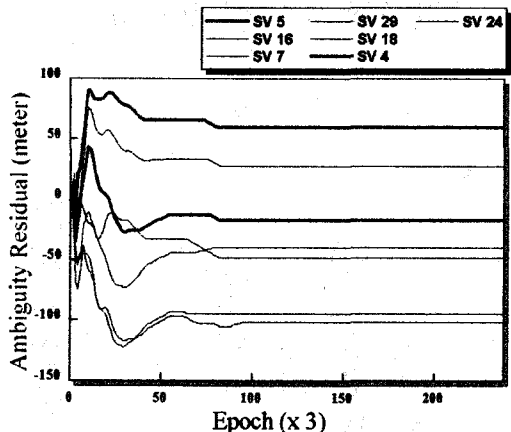


그림 19. Doppler 보정된 Wide-lane의 N값

코드를 이용하여 지연량을 추정할 경우 별도의 필터가 필요함을 알 수 있으며 약간의 편이는 피할 수가 없을 것 같다. 본 연구에 사용한 관측자료의 관측시간이 P.M. 11:00-12:00로서 전리층의 영향이 매우 미약함을 알 수 있다.



GPS 위치정확도 향상을 위한 의사거리 오차의 분석에 관한 연구

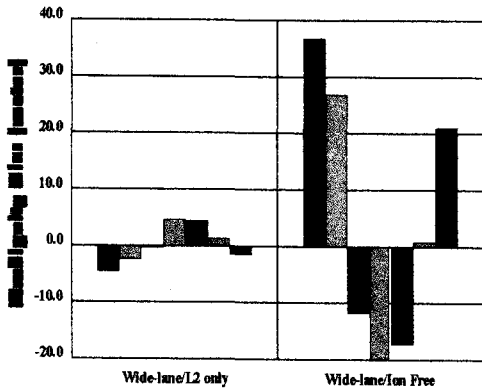


그림 20. 추정된 L1 N값의 비교

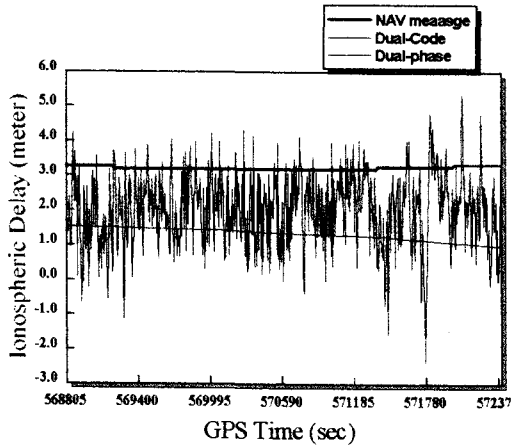


그림 21. 전리층에 의한 신호전달지연의 비교

2.7 SA(Selective Availability)

SA는 미국방부에서 고의적으로 GPS의 성능을 악화시키기 위하여 추가하는 잡음으로, 수신기의 절대좌표를 필요로 하는 대부분의 사용자에게서 발생하는 위치오차의 가장 큰 부분을 차지한다. 이러한 SA는 위성시계를 조작하여 오차를 발생시키는  $\delta$ -프로세서와 위성궤도정보를 조작하여 오차를 발생시키는  $\epsilon$ -프로세서에 의해 이루어지는 것으로 알려져 있을 뿐, 그것의 정확한 발생과정은 공개되지 않고 있다. 따라서 SA에 의한 오차는 관측된 의사거리에 포함될 수 있는 모든 오차요소를 분리한 후 잔차를 이용하여 모형화하는 방법을 택하고 있다.<sup>13)</sup>

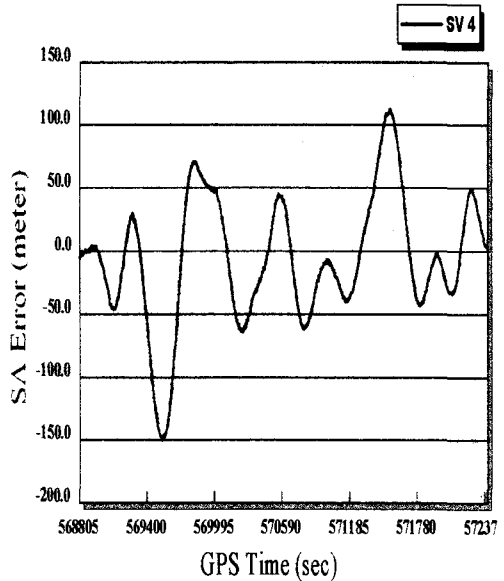


그림 22. 4번 위성의 시간별 SA 변화

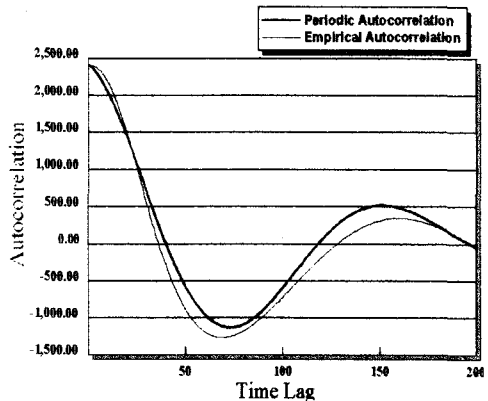


그림 23. SA에 대한 자기상관함수 분석

표 3. SA의 자기상관분석 결과

구분	내용	시정수 (sec)	백색잡음 표준편차 (meter)
	SV 4	500	6.9
	SV 5	140	7.5
	SV 7	420	6.7
	SV 16	295	6.1
	SV 18	480	5.9
	SV 24	245	9.2
	SV 29	380	3.5

### 3. SA 소거효과 분석

#### 3.1 수신기시계의 편의량보정

앞에서 설명된 수신기시계 편의의 변화량에서 관찰되었던 SA의 효과를 선형식으로 보정함으로써 그 결과 수신기의 좌표에 미치는 영향을 살펴보았다.

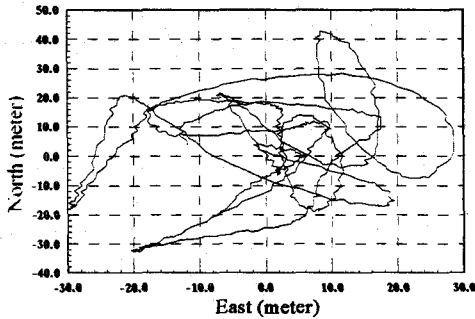


그림 24. 수신기에서 계산된 수신기의 평면오차

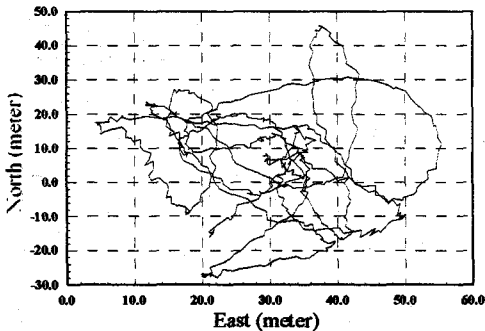


그림 25. 수신기시계 편의량을 보정한 후의 평면오차

수신기시계의 편의량을 보정한 후 수신기의 좌표를 계산한 결과 그림25와 같이 평면오차는 별다른 개선 효과가 없었으며, 오히려 참값에서 편이되는 현상을 보이고 있다. 다만 약간의 개선효과로 계산된 좌표의 불규칙성이 완화되기는 하였다. 수신기의 평면오차에 비하여 높이오차는 그림26에서와 같이 매우 개선된 것으로 나타났다. 결론적으로 수신기시계 편의의 보정효과는 관측되는 모든 위성에 공통적인 오차를 소거하는 것으로, 실험결과 소거된 오차의 크기가 크지 않았음을 의미한다.

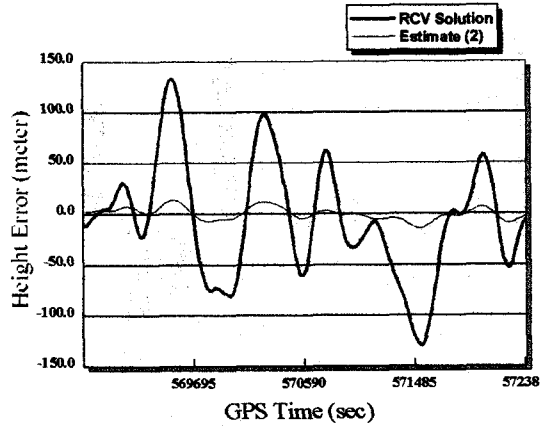


그림 26. 수신기의 높이오차

#### 3.2 SA의 소거

SA를 소거한 후의 수신기 위치오차는 확실히 개선 효과가 보여진다. 다만 평면오차의 경우 일정한 방향을 가지며 수렴되는 것이 특이하다.

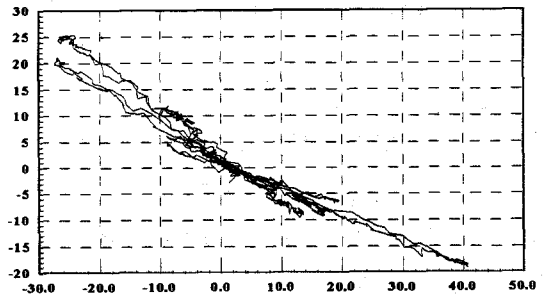


그림 27. SA를 소거한 후의 수신기 평면오차

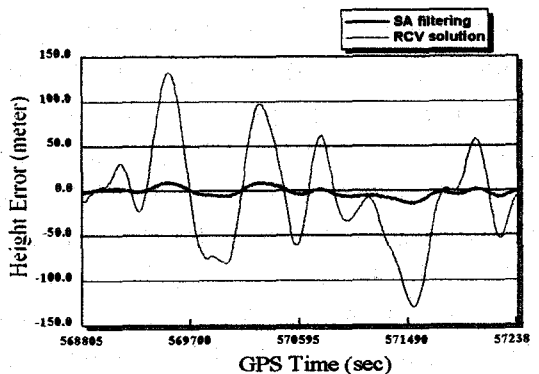


그림 28. 수신기 높이오차

그림27는 추정된 SA가 편이되었음을 의미하며, 이와같은 현상은 수신기시계의 편이량이 잘못 추정되었기 때문에 판단된다. 이는 SA를 계산하는 과정이 전체 의사거리오차에서 SA를 제외한 나머지 오차요소들을 뺀 것으로 가정하였기 때문에 이미 SA의 영향을 크게 받고 있는 수신기시계의 편이량이 제대로 추정될 수 없었기 때문이다. 따라서 편이되지 않은 수신기시계의 편이량을 계산하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 분석된 여러 오차요소들에 대하여 수신기에서 측정되는 자료만을 이용하여 오차들을 보정한 결과는 다음과 같다.

표 4. 개별오차의 크기 (단위 : m)

항목 구분	편의	표준 편차	rmse	설 명
위성계 도	-0.83	17.53	17.54	항법정보에 포함된 위성 계도요소의 오차
위성시 계	-0.30	1.91	1.93	항법정보에 포함된 위성 시계보정요소의 오차
대류권	4.45	1.59	4.72	모형식을 이용한 보정을 수행치 않을 경우
전리층	-0.86	1.81	2.01	항법정보에 포함된 전리 층보정요소의 오차
SA	2.42	44.86	44.92	전체 의사거리오차에서 개별오차요소들을 뺀 나 머지

표4에 나타나 있는 오차의 크기는 본 연구의 분석이 매우 한정된 자료만을 이용하였으므로 중요치 않다. 그러나 오차의 상대적 크기는 의미가 있으며, 표4에서와 같이 SA가 추정된 의사거리오차의 대부분을 차지함을 알 수 있다. 따라서 SA의 특성을 분석할 필요가 있으며, 실험결과 그러한 SA의 특성이 의사거리의 변화속도와 수신기시계 편이의 변화율에서 관찰되었으며, 또한 각 위성별로 발생과정이 다르다는 것을 알 수 있었다. 이러한 SA의 특성으로부터 다음과 같이 SA의 영향을 감소시킬 수 있는 방법이 제시되었다. 만약 SA의 영향이 없다면 각 위성별 의사거리의 변화속도가 2차 다항식으로 표현될 수 있으므로 각 위성

에 대한 의사거리의 측정값에 대하여 2차 다항식의 계수를 추정함으로써 SA의 영향을 감소시킬 수 있다. 또한 비교적 짧은 관측시간 동안에는 수신기시계 편이의 변화율이 선형적이므로 추정된 의사거리를 이용하여 계산된 수신기시계의 편이량으로부터 선형식의 계수를 추정함으로써 SA의 영향을 감소시킬 수 있다. 후자의 경우 추정된 의사거리에 포함된 SA로 인하여 추정된 수신기시계의 편이가 왜곡될 수 있으므로 미리 의사거리에 대한 SA의 영향을 전자의 방법으로 최소화시키는 것이 중요하다.

본연구는 GPS를 이용한 항법에 있어서 절대적으로 요구되는 높은 정확도의 실시간 위치정보를 구하는 알고리즘을 구현하기 위한 기초적 연구로, 비교적 상세한 오차모델의 검토와 분석이 수행되었다. 그러나 본 연구에 이용된 GPS 측정자료가 충분하지 못하여 일반화된 결론으로 유도되지 못한 아쉬움이 있지만, 국내에서 진행된 이 분야의 연구에서 검토되지 못한 내용들을 보완하는 역할을 수행할 수 있으리라 기대한다. 나아가 연구가 수행되어온 과정들을 보다 세분화하여 충분한 양의 측정자료를 축적해 나간다면 한층 실용적인 결과가 예상된다.

#### 감사의 글

본 논문은 1993년도 학술진흥재단의 신진연구인력 지원금에 의한 연구결과임을 밝히며 본 연구의 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Larkin, T., 1988, GPS Services Available to Civilian Users, Proceedings of the ION GPS-88, the Institute of Navigation, Colorado Springs, Sep.21-23, pp.67-75
2. Greenspan, R.L., A.K. Tetwsky, J.I. Donna, and J.A. Klobuchar, 1991, The Effects of Ionospheric Errors on Single-Frequency GPS Users, Proceedings of

- ION GPS-91, Albuquerque, NM, Sep.11-13, The Institute of Navigation, pp.291-297.
3. Wells, D., 1987, Guide to GPS Positioning, 2nd ed., Canadian GPS Associates.
  4. Leick, A., 1990, GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons.
  5. Remondi, B.W., 1984, Using the Global Positioning System(GPS) Phase Observable for Relative Geodesy: Modeling, Processing, and Results, Doctoral Dissertation, Univ. of Texas at Austin.
  6. Rocken, C., and C. Meertens, 1991, Monitoring selective availability dither frequencies and their effect on GPS data, Bulletin Geodesique 65, pp.162-169.
  7. Hopfield, H.S., 1963, The Effect of Tropospheric Refraction on the Doppler Shift of a Satellite Signal, Journal of Geophysical Research, Vol.68, No.18, pp.5157-5168.
  8. Hopfield, H.S., 1969, Two-Quartic Tropospheric Refractivity Profile for Correcting Satellite Data, Journal of Geophysical Research, Vol.74, No.18, pp.4487-449
  9. Goad, C.C., and L.L. Goodman, 1974, A Modified Hopfield Tropospheric Refraction Correction Model, Presented at the Fall Annual Meeting, American Geophysical Union, San Francisco, California, Dec.12-17.
  10. Gelb, A., 1974, Applied Optimal Estimation, The M.I.T. Press.
  11. Klobuchar, J.A., 1987, Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-Frequency GPS Users, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-23, No.3, pp.325-331.
  12. Frees, W.A and S.G STEPHENS, 1987, Evaluation of GPS Ionospheric Time-Delay Model, IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems, Vol. LAES-23, No. 3, pp.332-338
  13. Chou, H.T., 1990, An Anti-SA Filter for Non-Differential GPS Users, Proceedings of ION GPS-90, The Institute